

УДК 621.926: 34.16

С.Л. ЦВИРКУН, ст. преподаватель, ГВУЗ «Криворожский национальный университет»

## **ПРЕДВАРИТЕЛЬНАЯ МАГНИТНАЯ СОРТИРОВКА КУСКОВОЙ ЖЕЛЕЗНОЙ РУДЫ - МЕТОД ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ И РЕСУРСОБЕРЕЖЕНИЯ ГОРНОГО ПРОИЗВОДСТВА**

Рассмотрены методы предварительной классификации руды с целью выделения продукта с высоким содержанием полезного компонента. Показана актуальность предварительного обогащения магнетитовых руд. Приводятся разделительные признаки, которые могут быть использованы в процессах предобогащения полезных ископаемых.

**Ключевые слова:** распознавание типа руды, разделительные признаки, сортировка, магнитная сортировка.

**Проблема и ее связь с практическими задачами.** Железная руда является важнейшим стратегическим сырьем для черной металлургии - одной из ключевых отраслей народного хозяйства, определяющих экономическую независимость и безопасность государства. Перспективы долгосрочного устойчивого развития железорудной подотрасли Украины определяются конкурентоспособностью украинских предприятий на мировом и внутреннем рынках, что выводит на первый план проблему поиска новых возможностей для снижения себестоимости на всех стадиях производства железорудного сырья.

Необходимость снижения себестоимости и повышения технико-экономических показателей обогащения магнетитовой руды ставит задачи совершенствования технологии обогащения и, в частности, технологий рудоподготовки. И здесь главный технологический и экономический производственный резерв заключается в уменьшении затрат на транспортирование горной массы и энергетических затрат на переработку доменной руды, которая может быть выделена и выведена из общей массы сырья, поступающего на обогащение.

Именно по экономическим и технологическим соображениям предварительное обогащение руд должно стать неотъемлемой частью общей технологии добычи и переработки полезных ископаемых, различных видов техногенного сырья для горнорудных предприятий.

**Анализ исследований и публикаций.** В работе [1] приводятся разделительные признаки, которые могут быть использованы в процессах обогащения полезных ископаемых. Их следует классифицировать на базе основных сил, предопределяющих результат разделения частиц. Так же отмечается, что основным и принципиальным различием определенности и точности известных значений разделительных признаков является то, чем предопределяется разделительный признак, свойствами вещества в объеме всего куска (при радиометрических, нейтронно-активационных, фото-нейтронных, нейтронно- и гамма-абсорбционных методах рудоразборки) или только свойствами вещества его поверхности (рентгенорадиометрических, люминесцентных, фотометрических и оптических методах сортировки кусков).

**Цель исследований.** Целью выполненных исследований является разработка метода интерпретации основных признаков добываемой руды для её магнитной сортировки и выделения доменной фракции, направляемой непосредственно на металлургический передел.

**Изложение материала и результаты.** Практически во всех горнодобывающих странах мира до сегодняшнего времени применяется ручная рудоразборка (или сортировка) крупнокускового материала. Но этот низкоэффективный труд не решает проблемы. В то же время высокоэффективная и производительная покусковая сепарация способна решать подобные задачи.

Именно для этих целей и разработаны различные методы сухого обогащения, основанные на использовании химических или физических свойств полезных ископаемых. К специальным методам обогащения относятся процессы, основанные на использовании разницы анализируемой руды в цвете и блеске, в твердости, в интенсивности различных видов проникающих или отражённых излучений, в способности минералов растрескиваться при нагревании и т.д. [1].

Наиболее широкое распространение среди специальных методов получили методы сортировки или рудоразборки, которые основаны на различиях излучения в оптической области спектра (оптические методы), с использованием гамма-излучения (радиометрическая сортировка). При фотометрической сортировке движущиеся по ленточному конвейеру куски руды освещаются источником света. В зависимости от интенсивности отраженного света, попадающего на фотоэлемент, возникает электри-

ческий ток, который затем усиливается и приводит в действие снимающий механизм, сбрасывающий выделенные куски в отсек для концентрата или в отсек для хвостов.

Эти процессы применяются, как правило, для предварительной классификации руды с целью выделения продукта с высоким содержанием ценного компонента. Они отличаются высокой производительностью, эффективностью, низкими расходами электроэнергии, воды, топлива и экологичностью.

Вместе с тем, на большинстве горно-обогатительных комбинатов, перерабатывающих магнетитовые руды, в процессе рудоподготовки используется сухая магнитная сепарация (СМС) мелкодробленых руд как способ предконцентрации железных руд, позволяющий выделить значительное количество сухих хвостов и снизить затраты на последующую переработку. Дробленая руда подвергается СМС с выделением отвальных хвостов с массовой долей железа 10-11,5 %. Потери железа с хвостами СМС достигают 11-12 % за счет значительной крупности материала, поступающего на СМС, и недораскрытия в нем сростков. Руда крупностью 15(10)-0 мм не обогащается вследствие низкой эффективности сепарации на используемых барабанных сепараторах, а поступает на измельчение и мокрую магнитную сепарацию, что приводит к увеличению затрат на измельчение, обогащение и гидротранспорт хвостов мокрой магнитной сепарации (ММС).

Совершенствование технологии рудоподготовки с целью стабилизации качества сырья, поступающего на обогатительный передел благоприятно сказывается на показателях глубокого обогащения, способствует повышению производительности мельниц первой стадии на величину, равную количеству выведенной богатой руды при предварительном обогащении, увеличению суммарного извлечения полезных компонентов, а также улучшению качества, сортности, потребительских свойств готовых концентратов, снижению общих эксплуатационных расходов, удельного расхода электроэнергии и шаров, износа футеровки мельниц.

Методы автоматической сортировки кусковой руды основаны на формировании системы признаков разделения для решения задачи распознавания образов.

При формировании качественно-количественной оценки критерия разделения руды будем учитывать такие разделительные признаки: крупность, масса, цвет и магнитные свойства её кусков [1]. Кусковая фракция богатой руды с размерами кусков от 10 до 70 мм и содержанием железа 42-43 % выделяется в процессе автоматической сортировки и отгружается потребителям, как доменная руда.

Распознавание кусковой руды осуществляется при помощи дискриминантных функций. Пусть  $x = (x_1, x_2, \dots, x_n)^T$  обозначает  $n$ -мерный вектор признаков руды. Имея  $W$  классов образов  $w_1, w_2, \dots, w_W$  задачу распознавания можно сформулировать следующим образом: требуется найти  $W$  решающих функций  $d_1(x), d_2(x), \dots, d_W(x)$ , которые обладают таким свойством, что если образ  $x$  принадлежит классу  $w_i$ , то

$$d_i(x) > d_j(x), \text{ при всех } j = 1, 2, \dots, W, j \neq i \quad (1)$$

Из этого следует, что неизвестный образ  $x$  относят к  $i$ -му классу, если при подстановке  $x$  во все дискриминантные функции наибольшее значение имеет величина  $d_i(x)$  [2].

Разделяющей поверхностью между классами  $w_i$  и  $w_j$  является множество значений  $x$ , для которых  $d_i(x) = d_j(x)$ , или, что то же самое, множество векторов  $x$ , для которых  $d_i(x) - d_j(x) = 0$ .

Разделяющая поверхность между двумя классами может быть описана единой функцией

$$d_{ij}(x) = d_i(x) - d_j(x) = 0. \quad (2)$$

Тогда  $d_{ij}(x) > 0$  для образов класса  $w_i$  и  $d_{ij}(x) < 0$  для образов из класса  $w_j$ .

Отыскание решающих функций вызывает оценивание параметров образов, которые являются репрезентативными для данного класса.

Векторы признаков можно построить на основе количественных дескрипторов для областей и/или границ. Если описание границы производится при помощи Фурье-дескрипторов, то величина  $i$ -го дескриптора становится значением  $x_i$ , т.е.  $i$ -ой компонентой вектора признаков. Класс определяется его усредняющим вектором  $m_j$ , т.е. используется среднее значение по множеству данного класса в качестве представителя (прототипа) данного класса векторов

$$m_j = \frac{1}{N_j} \sum_{x \in \omega_j} x, j = 1, 2, \dots, W, \quad (3)$$

где  $N_j$  - число образов класса  $w_j$ ;  $W$  - число классов образов.

Целесообразно использовать способ отнесения неизвестного образа с вектором признаков  $x$  к некоторому классу путем выбора того класса, чей прототип ближе всего к вектору  $x$ . В этом случае при использовании евклидова расстояния в качестве меры близости образов задача сводится к вычислению расстояний

$$D_j(x) = \|x - m_j\|, j = 1, 2, \dots, W. \quad (4)$$

После этого исследуемый образ относится к классу  $w_i$ , имеющему наименьшее расстояние  $D_j(x)$ . Таким образом наилучшее совпадение определяется по минимальному расстоянию до прототипа.

Если вместо одного вектора у нас имеется множество векторов признаков, представленных в виде строк матрицы  $X$ , то следует получить матрицу  $D$ , элемент  $D(i, j)$  которой равен евклидову расстоянию от  $i$ -го вектора из  $X$ , до  $j$ -го прототипа из  $M$  [2]. В этом случае для того, чтобы определить класс  $i$ -го образа из  $X$ , достаточно найти номер столбца в строке  $i$  матрицы  $X$ , имеющего минимальное значение. Из этого следует, что выбор кратчайшего расстояния эквивалентен вычислению функций

$$d_j(x) = x^T m_j - \frac{1}{2} m_j^T m_j, \quad j = 1, 2, \dots, W. \quad (5)$$

и отнесение  $x$  к классу  $w_i$  происходит при наибольшем значении  $d_i(x)$ .

Разделяющая поверхность между классами  $w_i$  и  $w_j$  в случае классификатора по минимуму расстояния задается уравнением

$$d_{ij}(x) = d_i(x) - d_j(x) = x^T (m_i - m_j) - \frac{1}{2} (m_i - m_j)^T (m_i - m_j) = 0. \quad (6)$$

Заданная этим уравнением поверхность перпендикулярна отрезку, соединяющему  $m_i$  и  $m_j$ , и проходит через его середину.

Приведенный выше алгоритм оперирует с крупностью, массой, цветом и магнитными свойствами кусков руды для выделения ее доменной фракции.

**Выводы.** В настоящее время предварительное обогащение является одним из наиболее перспективных и развивающихся направлений обогащения полезных ископаемых, с которым во многом связывается дальнейший прогресс в этой области. Однако, до настоящего времени предварительное обогащение во всем многообразии не рассмотрено как самостоятельный раздел обогатительной технологии с единых методологических, теоретических и технологических позиций. Предлагаемый метод автоматической магнитной сортировки кусковой руды является перспективным направлением повышения технико-экономических показателей обогатительных фабрик.

#### Список литературы

1. Козин В.З. Исследование руд на обогатимость. - Урал. гос. горный ун-т. - Екатеринбург: Изд.-во УГГУ, 2008. - 312 с.
  2. Гонсалес Р., Вудс Р., Эддинс С. Цифровая обработка изображений в среде MATLAB. - Москва: Техносфера, 2006. - 616 с.
- Рукопись поступила в редакцию 23.01.12

УДК 622.235: 622.271

С.В. ТИЩЕНКО, д-р техн. наук, Г.И. ЕРЕМЕНКО, канд. техн. наук,  
М.В. МАРТЫНЮК, аспирант, ГВУЗ «Криворожский национальный университет»

### МЕХАНИЗМ И УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ ЗАЩИТНОЙ ЗОНЫ НА ГРАНИЦЕ РАЗРУШАЕМОГО ГОРНОГО МАССИВА

Рассмотрен процесс образования смежных скважинных зарядов ВВ, расположенных на линии образования динамической зоны разрушения, и непосредственное поведение горного массива, заключенного между ними.

**Проблема и ее связь с научными и практическими задачами.** Традиционные методы ведения взрывных работ объединяет то, что разрушаемый уступ горных пород, подвергается взрывному воздействию от ранее произведенных взрывов, в результате чего верхняя его часть